

Máquina de ensayo para efecto creep: Desarrollo alternativo y validación computacional

Rene Molina⁽¹⁾, Claudio Gatti^(1,2), Lilian Moro^(1,2), Marcelo Piovan^(1,2)

⁽¹⁾ *Departamento de Ingeniería Mecánica.*

⁽²⁾ *Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bahía Blanca
11 de Abril 461, B8000LMI Bahía Blanca, Argentina
e-mail: rjmolina@criba.edu.ar, mpiovan@frbb.utn.edu.ar.*

RESUMEN

Las construcciones mecánicas siempre requieren de materiales metálicos que por las exigencias cada vez más intensas de sollicitación y uso deben estar adecuadamente caracterizados en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas. Esta caracterización se debe efectuar con máquinas de ensayo apropiadas, las cuales suelen ser de tecnología dependiente de patentes costosas. En este sentido el desarrollo de tecnologías propias, también llamadas "in-home", tiene importancia superlativa para poder efectuar las caracterizaciones experimentales que requieren los metales que se están fabricando actualmente.

Determinado tipo de metales, como los aceros aleados, suelen ser sometidos a condiciones complejas donde se combinan los efectos termo-elásticos con las sollicitaciones provocadas por esfuerzos mecánicos. Este tipo de escenario conlleva a la presencia de deformaciones progresivas en el tiempo lo cual eventualmente conduciría a la falla catastrófica. Es entonces, en estas circunstancias, de fundamental importancia conocer el comportamiento viscoelástico del material, siendo que aquel juega un rol importante en la determinación de la respuesta estructural, pues permite describir la tasa temporal de deformaciones ante las cargas aplicadas. Una forma de efectuar la caracterización del material es mediante ensayos de creep; según el cual la probeta de acero es sometida a estados de tensión y temperatura constantes.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un diseño alternativo de una máquina "in-home" para efectuar ensayos de creep en aceros. Se presentan diferentes alternativas de modelos estructurales junto con sus validaciones computacionales y el diseño definitivo basado en aspectos comparativos.

Palabras Claves: Máquina de creep, construcción alternativa.

1. INTRODUCCIÓN

En la determinación de las propiedades un acero es necesario contar con máquinas de ensayo apropiadas. Muchas veces la disposición de los fondos necesarios para la adquisición de las máquinas de ensayo suele ser un asunto limitante en los laboratorios de ensayos metalográficos o metalúrgicos de las universidades o de los institutos de investigación. Una alternativa para subsanar esta limitación es efectuar un desarrollo con tecnología propia para poder construir la mencionada máquina, evitando la erogación de dinero en costosas marcas registradas. Este tipo de decisiones conlleva de suyo la necesidad de establecer los aspectos globales y de detalle en el diseño y posterior puesta a punto del equipo. Así pues uno de los primeros aspectos a tener en cuenta se circunscribe en la decisión del tipo de estructura portante de los dispositivos de medición y control del ensayo de creep.

Bajo esta concepción, en el presente artículo se presentan los aspectos preliminares de diseño y cálculo estructural de una máquina "in-home" para efectuar los ensayos de caracterización del efecto "creep" en aceros [1-3]. A continuación se propone una serie diferentes alternativas de modelos estructurales junto con sus validaciones computacionales y el diseño definitivo basado en aspectos comparativos. Para efectuar el cálculo estructural se ha recurrido al programa de elementos finitos Abaqus.

2. CONCEPCION PRELIMINAR DEL DISEÑO

En la Figura 1 se puede apreciar un bosquejo del modelo básico de diseño que se empleará. El mismo es una variante de una máquina de similares prestaciones que se encuentra en el Laboratorio de metalurgia de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, con sede en la Ciudad de Tandil. Tal máquina también ha sido construida, varios años atrás, bajo un criterio de diseño propio y alternativo.

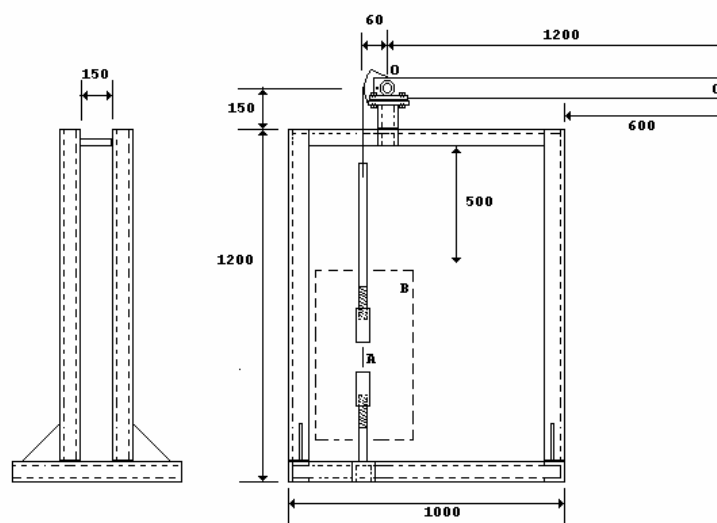


Figura 1 Bosquejo de la estructura para la máquina de ensayo creep.

Así pues, en la Figura 1, se puede apreciar la ubicación de probeta (A), el punto de rotación (O) de la palanca accionada en el punto (C) con una fuerza cuyo valor máximo ascenderá a 10000 N y el contorno del horno para mantener la temperatura de la probeta, indicado con líneas de trazos (B). En la Figura 2 se muestra la forma de accionamiento sobre la probeta, tanto la forma original de la máquina de la Universidad Nacional del Centro, cuanto la propuesta alternativa que se desarrolla actualmente en la Facultad Regional Bahía Blanca.

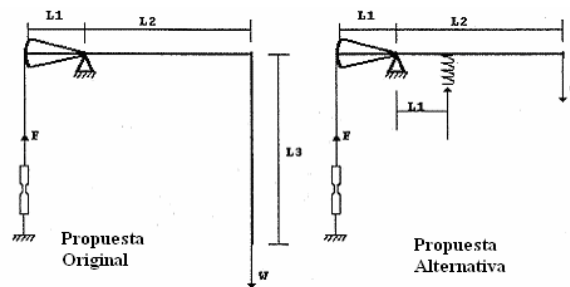


Figura 2 Bosquejo del sistema de accionamiento.

3. MODELOS DE CÁLCULO Y ANALISIS DE SOLUCIONES

Para poder efectuar ensayos con suficiente precisión, es necesario contemplar dos aspectos: en primer lugar la calidad de los instrumentos de medición y en segundo lugar (pero quizás no en importancia) la robustez y suficiencia de la estructura portante de la máquina. El rol que juega la estructura portante para reducir a lo mínimo, errores de medición debido a las deformaciones de las partes afectadas por las sollicitaciones es de fundamental importancia.

Así pues, de acuerdo con el croquis de la Figura 1, se han planteado varias alternativas estructurales como las que se muestran en la Figura 3. Básicamente se trata de los siguientes modelos:

- a) Estructura construida con perfiles U y reforzado con chapas.
- b) Estructura construida con perfiles H
- c) Estructura construida con perfiles H y reforzados con chapas.

El modelo estructural a) es más cercano al original, en tanto que los otros dos son alternativos. Para poder estimar la calidad de las diferentes opciones se han empleado plataformas CAE (Computer Aided Engineering) disponibles bajo licencia en la Facultad Regional Bahía Blanca, los cuales trabajan con el método de cálculo numérico de Elementos Finitos [4], con posibilidad de usar los software Abaqus y Cosmos Design Star. Con tales programas se han desarrollado los modelos geométricos y determinado los estados de tensiones y fundamentalmente los estados de deformaciones. A su vez, tal como se puede apreciar en la Figura 3, se han

empleado refuerzos con chapas, con el objetivo de rigidizar aún más la estructura y limitar así el orden de las deformaciones.

Las condiciones que debe reunir la estructura para cumplir dicho objetivo, constan de limitaciones geométricas (vinculantes con el proceso constructivo) y lo más importante, limitar el desplazamiento máximo en la zona crítica de actuación de la carga en el orden de la centésima de mm. (10^{-2} mm.). Además, la máquina no debe ser excesivamente robusta, para no ser disfuncional. De esta manera, para el modelo (a) se ha establecido un conjunto de perfiles UPN a probar con el fin de determinar las máximas deflexiones. En tal sentido se han efectuado pruebas con UPN 100, UPN 120, UPN 140, UPN 160, con o sin planchuelas de refuerzo. Se empleó una planchuela de refuerzo de 7/16" en todos los casos de perfil UPN reforzado. En la Tabla 1 se pueden observar los valores de las máximas deflexiones obtenidas en los modelos de cálculo por elementos finitos, calculados para la máxima sollicitación de diseño de la máquina (es decir 10000 N). Nótese la importancia de emplear los refuerzos. Dado que para el perfil UPN 160 se ha logrado una reducción sustancial que permite fijar tal opción como una de las más probables atendiendo a la condición de desplazamiento máximo permisible en el diseño.

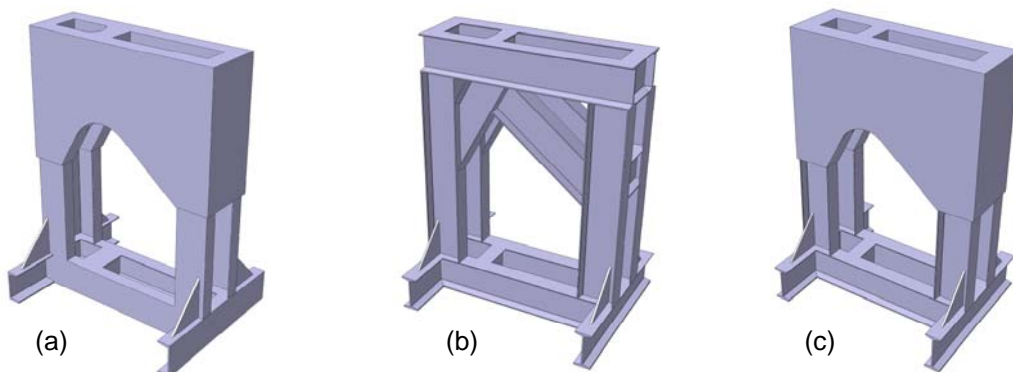


Figura 3 Perspectiva de la estructura (a) perfiles U (b) Perfil H sin chapa, (c) Perfil H con chapa.

Tabla 1 Valores máximos de desplazamientos [mm] para algunos modelos con UPN.

UPN	Con Refuerzo	Sin Refuerzo
UPN 100	0.0596	0.0786
UPN 160	0.0069	0.0204

En la Figura 4 se puede apreciar el estado de desplazamientos y de tensiones de todo el modelo para un caso particular de un UPN 160 con refuerzo. En tal figura se puede apreciar la deformación escalada en amplificación. Los valores del estado de tensiones son tan bajos que permiten en la zona más solicitada coeficientes de seguridad del orden de la centena. Por otro lado se han efectuado cálculos basados en los modelos (b) y (c), sin embargo para estos casos, solamente se ha contado con perfiles IPN 180, puesto que tales perfiles se poseen en

los laboratorios y para la construcción de la máquina no sería necesaria la erogación de dinero alguno. En tal sentido solo es debe garantizar con tales modelos la condición de máximo desplazamiento. Para ello se han elaborado modelos de elementos finitos acordes, cuyos resultados se pueden apreciar en la Figura 5. Se podrá notar que el refuerzo de chapa, en este caso de 3/8" es fundamental para garantizar la condición requerida sobre los máximos desplazamientos permitidos en la estructura portante.

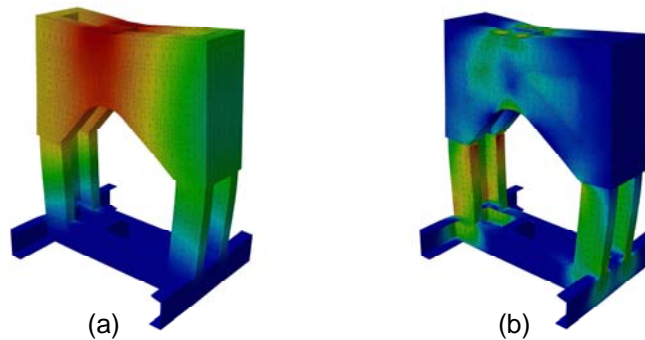


Figura 4 Resultados de un UPN 160 (a) Desplazamientos (b) Tensiones equivalentes [von Mises].

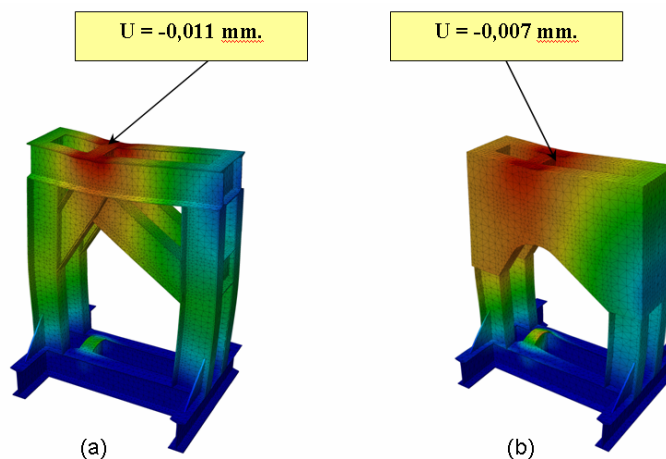


Figura 5 Desplazamientos de un IPN 180 (a) Sin Refuerzo (b) Con Refuerzo.

4. ANALISIS DEL ENSAMBLE DE LA MAQUINA

Una vez definida la estructura portante de la máquina, se establece el resto de los componentes y se los calcula empleando las plataformas mencionadas en los apartados anteriores. Así pues, en la Figura 6 se puede apreciar el montaje estructural completo de la máquina, exceptuándose el sistema de montaje de la cargas, el cual por su simplicidad no merece análisis computacional específico pudiéndose hacer por medio de cálculos convencionales de resistencia de materiales o mecánica de materiales clásica. Así pues, de la Figura 6 se pueden distinguir los siguientes componentes: (1) Brazo de palanca, (2) Fleje metálico, (3) Eje, (4) Estructura, (5) Tornillos y tuercas de sujeción, (6) Cojinetes de apoyo, (7) Soporte, (8) Sujeción de fleje, (9) Tornillo de sujeción sistema de tracción, (10) Tubo de sujeción superior, (11) Conos de tracción, (12) Probeta, (13) Tubo sujeción inferior.

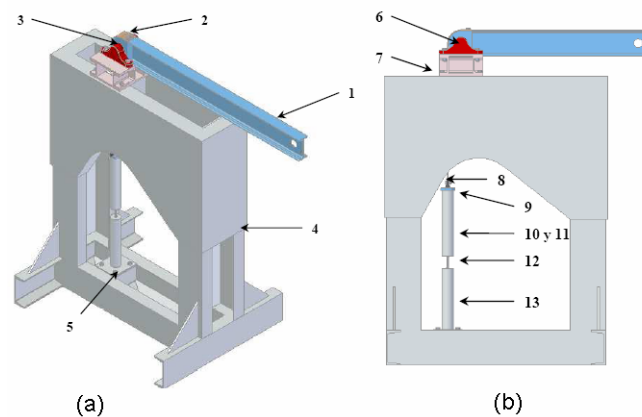


Figura 6 Ensamble estructural de la máquina de ensayos (a) Perspectiva (b) Vista lateral.

El sistema brazo de palanca fleje está constituido por la palanca, el fleje, la sujeción del fleje, cuatro tornillos hexagonales de 12 mm. de diámetro y dos tuercas. Mediante el brazo de palanca se aplicará la carga desde el extremo derecho de ésta y pivoteando en (3) se transmitirá a la probeta. Esta transmisión de la carga se realiza por medio del fleje metálico y demás componentes de tracción. En la Figura 7 se puede observar el cálculo de verificación de la palanca construida con un IPN 120 con un perfil lleno soldado en su extremo. Nótese que está bajo estados tensionales muy bajos.

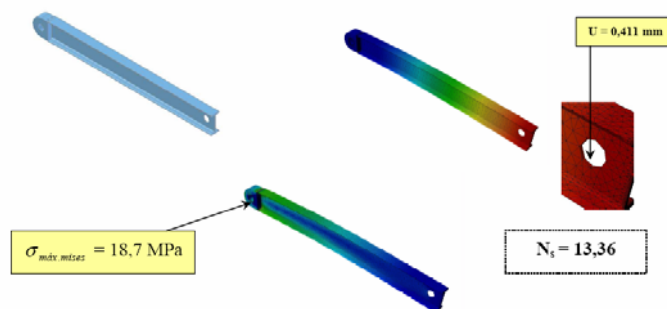


Figura 7 Cálculo de la palanca.

La sujeción del fleje (8) es de 40 mm de alto por 80 mm de largo, con espesor de 10 mm y posee un ranurado de 5 mm para sujetar al fleje. Dicha sujeción se realiza por medio de dos tornillos de 12 mm. Además posee un vástago roscado de 12 mm de diámetro por 25 mm de largo para sujetar los componentes de tracción de la probeta. En la Figura 8 se muestran los valores de los estados tensionales del componente de sujeción.

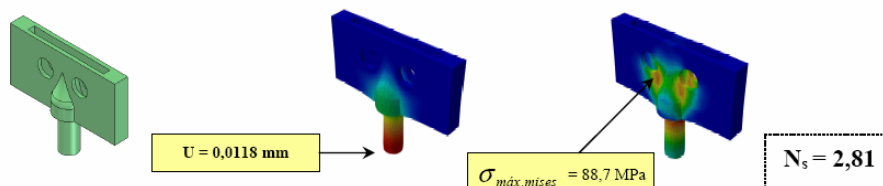


Figura 8 Cálculo de la sujeción.

En la Figura 9 se muestran los cálculos de verificación de los cojinetes de apoyo, en tanto que en la Figura 10 se muestra el estado tensional y de desplazamientos del soporte de cojinetes. En la Figura 11 se muestra el estado de desplazamientos y de tensiones del cono de sujeción de las probetas.

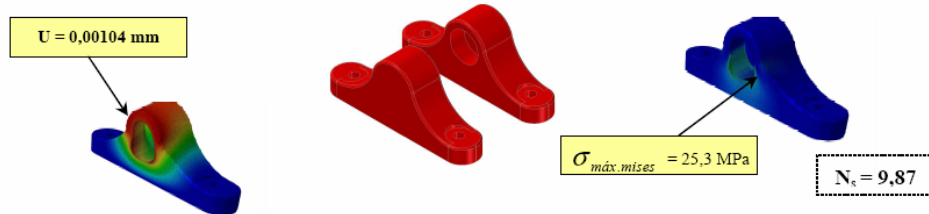


Figura 9 Verificación de los cojinetes de apoyo.

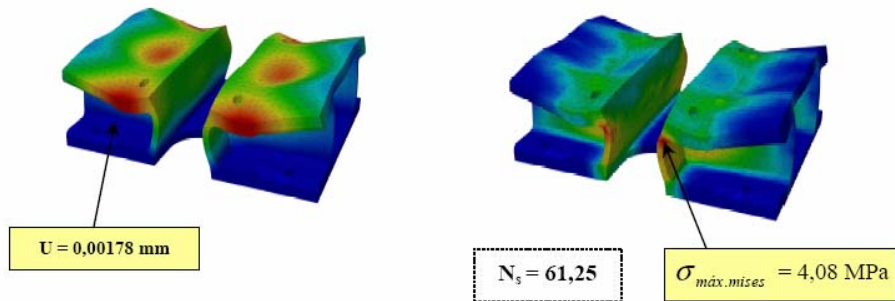


Figura 10 Estado de desplazamientos y de tensiones del soporte de cojinetes.

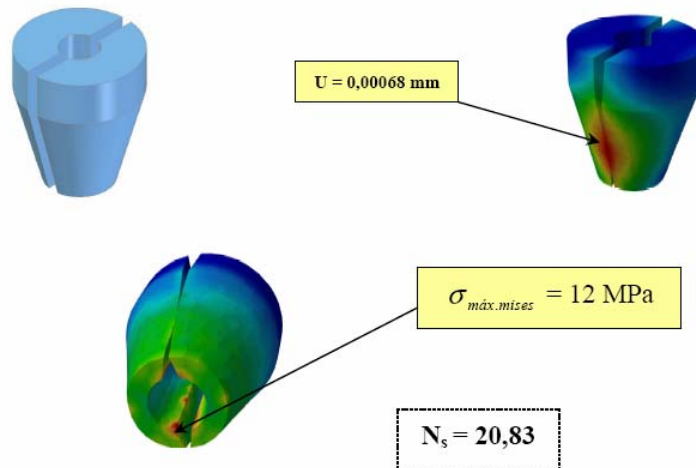


Figura 11 Estado de desplazamientos y de tensiones del cono de sujeción de las probetas.

Nótese que en todos los componentes que se han mostrado los coeficientes de seguridad no son nunca menores que 2. También se ha efectuado el cálculo del resto de los componentes, que por razones de espacio no se indican en este trabajo, sin embargo si resta por mencionar que en ninguno de ellos se han verificado estados de tensiones equivalentes que hayan deparado coeficientes de seguridad inferiores a 3.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha efectuado un análisis del diseño estructural de una máquina para efectuar ensayos de creep en aceros. El diseño de la máquina de termo fluencia, mediante herramientas computacionales, arrojó resultados de suma importancia para la construcción de la misma. Teniendo en cuenta la complejidad de algunos cálculos realizados, la utilización de la plataforma CAE ha sido una herramienta de sustancial importancia. Se han logrado calcular con mucha precisión componentes muy sofisticados de la máquina. Los resultados han permitido garantizar la integridad estructural de la máquina manteniendo todas las piezas y componentes estructurales del lado de la seguridad con coeficientes de seguridad altísimos.

Por otro lado se ha podido establecer una base de dimensiones y de perfiles apropiada desde el punto de vista de la resistencia y de deformación para comenzar con la construcción de la máquina, ahora, en función de parámetros de costo de materiales y dispositivos electromecánicos asociados.

6. REFERENCIAS

- [1] J. Cadek, "Creep in Metallic Materials" . Elsevier, 1988.
- [2] G. Mase, "Mecánica del Medio Continuo". Compendios Schawm-McGraw-Hill. 1977.
- [3] R. Viswanathan, "Damage Mechanisms and Life Assessment of High-temperature Components". ASM Internacional. 1993.
- [4] T. Chandrupatla, A. Belengundu, "Introducción al método de los elementos finitos.", Ed. Prentice Hall, 1998.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la SGCyT y al Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Bahía Blanca por el apoyo recibido.